

# 基于三维生态足迹的临汾市自然资本动态分析

荣菡 付言川 贾芸

兰州大学 资源环境学院, 甘肃兰州, 730000;

**摘要:** 本文运用三维生态足迹模式对临汾市自然资本利用现状进行探讨, 结果显示: (1) 临汾市 5 年三维人均生态足迹整体呈现波动上升趋势, 人均生态承载力基本持平在  $0.84952\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$  附近; (2) 人均生态足迹广度、深度呈下降走势。虽然临汾市资源利用发展潜力较大, 但生态系统安全情况受到损害, 临汾市存在一定自然资源与环境之间的矛盾。(3) 三维生态足迹比二维生态足迹数值更小, 但其结论更接近于真实情况。

**关键词:** 自然资本; 三维生态足迹模型; 临汾市

**DOI:** 10.69979/3029-2700.25.12.057

## 引言

自然资本的提出者是英国 David Pearce<sup>[1]</sup>, 其意义是推导出自然资源的数量和对生活有益的资源。自然资本包括流动资本与现有资本, 指能够适应区域发展需要的可再生自然资源流和生态服务。存量资本是指自然环境中的非再生资源流量的储备, 当流量资本的消耗饱和时, 存量资本被使用表明该区域的发展进入非可持续性状态。传统的二维生态足迹模型重点关注对象是可再生的流量资本的消耗量, 忽略了存量资本。Niccolucci<sup>[2]</sup> 等将足迹深度与足迹广度结合起来, 建立生态三维足迹, 从而更好地说明人类对自然资本利用的不同。利用方凯<sup>[3]</sup> 的改良生态足迹三维模型, 对足迹广度、足迹深度存量流量利用比、资本占用率进行分析, 分析临汾市 2016-2020 年自然资本的变化规律, 以期促进临汾市自然资源和生态环境的可持续发展。

## 1 研究区概况

临汾市位于山西省西南  $35^{\circ} 23' N \sim 36^{\circ} 57' N$ ,  $110^{\circ} 22' E \sim 112^{\circ} 34' E$ , 南北长 170km, 东西宽 200km, 土地总面积约 20275km<sup>2</sup>。并以小麦、棉花等经济作物为主, 形成多元化工业系统, 是中国三大优质主焦煤基地之一, 包括汾河、沁河等河流和龙祠、霍泉等泉水<sup>[4]</sup>。到 2020 年末, 人口总数为 3, 976, 481, 国民生产总值为 1505.2 亿元。

## 2 研究方法

### 2.1 数据来源

本研究对生物资源账号和能源账号进行分析。前者包括林产品、海产品等, 后者包括煤炭、电力。数据来自《临汾统计年鉴 2020》、《临汾市国民经济和社会发

展统计公报》(2016-2020)。全球平均产量来源于宋思维、郑国璋关于临汾市城乡居民生活消费的生态足迹分析。从国家地理信息系统获 30 米全球地表覆盖数据。因地类中没有化石能源用地, 在计算其生态承载力时, 用 0 代替<sup>[5]</sup>。

### 2.2 二维生态足迹模型

生态足迹是用于定量评价区域实现可持续发展的方法<sup>[6]</sup>, 二维生态足迹模型涵盖了生态足迹、生态承载力和生态赤字(盈余)的计算。

### 2.3 三维生态足迹模型

三维生态足迹是由足迹广度作为底面和足迹深度作为柱高相乘所得到的圆柱体。但其缺点是仅限于单一地类, 不同地类数量增多时, 会低估足迹深度、高估足迹广度。方恺在此基础上, 将模式拓展到区域以下的地类水平, 避免生态赤字、盈余情况相抵<sup>[11]</sup>, 从而拓展了模型应用范围。

## 3 结果分析

### 3.1 人均生态承载力、人均生态足迹和人均生态赤字的变化

临汾市 2016-2020 年人均生态承载力大体不变, 基本保持在  $0.84952\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$  左右; 人均生态足迹从 2016 年  $4.69416\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$ , 增至 2020 年  $5.11101\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$ , 增长率为 8.88%, 表明 2016-2020 年间临汾市对自然资源的依赖性强, 供给不能满足需求, 出现生态赤字。人均生态赤字和人均生态足迹走向基本相同, 显示临汾市存在供需不平衡的问题且发展面临较大挑战。

### 3.2 各地类人均生态承载力和人均生态足迹的变

化

### 3.2.1 临汾市各地类人均生态承载力动态分析

2016-2020 年临汾市不同地类承载力与总量的比例分别为耕地>林地>建设用地>水域>草地,其中耕地占比为 79.69%-81.27%,林地是耕地的十分之一,建设用地和水域相差不大,水域约占 0.11%。在研究时段内,耕地人均承载力基本持平;林地处于动态上升状态,2019-2020 年变化幅度较大,以年增长率 14.07%增加到  $0.07538\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$ ;建设用地在 2016 至 2019 年持续稳定上升,范围为  $0.05065\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$ - $0.06660\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$ ,2019-2020 增幅较大;草地的人均生态承载力由  $0.04156\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$  降低至最小值  $0.03590\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$  后上升为  $0.04330\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$ 。水域在各地类中面积占比和人均生态承载力均最小的,在 2016 年至 2020 年呈现波动,在  $0.00095\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$ - $0.00118\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$  内。

### 3.2.2 临汾市不同地类人均生态足迹的动态分析

2016-2020 年,耕地人均生态足迹较稳定,变化范围  $0.57631\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$ - $0.55085\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$ 。草地人均生态足迹整体呈波动下降的趋势,波动范围为  $0.08966\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$ - $0.07717\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$ 。林地的人均生态足迹变化表现倒“u”型,在 2016 年至 2018 年降低  $0.01947\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$  的最低值,到 2020 年大幅增加至  $0.03729\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$ 。化石燃料用地的人均生态足迹呈上升趋势,范围是  $3.93739\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$ - $4.37073\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$ 。水域的人均生态足迹呈“u”型,2019 年为  $0.01983\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$  最低值,总体变化范围是  $0.02421\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$ - $0.02443\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$ 。建设用地人均生态足迹有明显增加,在  $0.03989\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$ - $0.05054\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$  之间。(图 1)

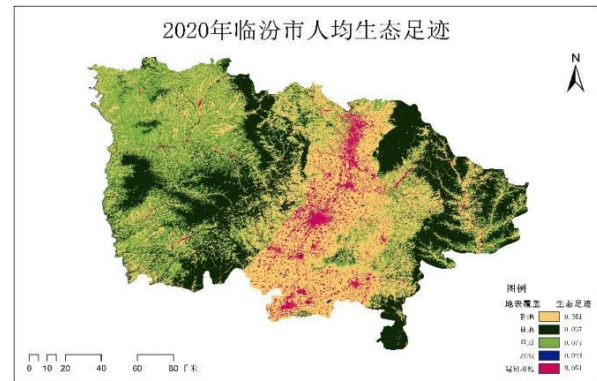
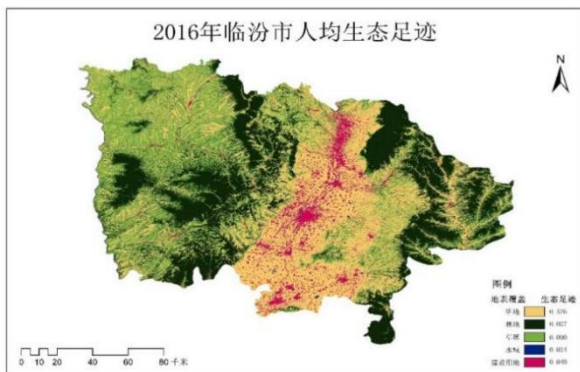


图 1 临汾市人均生态足迹图

### 3.3 三维生态足迹分析

#### 3.3.1 人均生态足迹广度和人均生态足迹深度分析

临汾市 2016-2020 年人均生态足迹广度变化:从 2016 年  $0.68542\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$  下降到 2017 年  $0.68159\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$ ,下降率为 0.56%,2018 年人均生态足迹广度为  $0.66548\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$ ,以 11.93% 减少为 2019 年  $0.58608\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$ ,又以 16.56% 增加到 2020 年  $0.68316\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$ 。耕地在人均生态足迹广度的比例最大,从 2016 年  $0.57631\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$  下降到 2019 年  $0.46946\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$ ,与人均生态足迹广度变化基本一致。草地与建设用地占比相差不大,建设用地人均生态足迹广度呈现稳定上升态势,从 2016 年  $0.03988\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$  增加到 2020 年  $0.05035\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$ 。林地和水域所占比例较小,林地从 2016 年  $0.02670\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$  下降到 2018 年  $0.01947\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$  又增加到 2020 年  $0.02935\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$ ;水域呈上升态势,贡献率最小,从 2016 年  $0.00095\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$  增加到 2020 年  $0.00102\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$ 。(表 1)

临汾市 2016-2020 年人均生态足迹深度的变化:从 2016 年 31.53129 下降到 2017 年 26.77101,下降率为 15.10%;增长到 2018 年 27.53172,年增长率为 2.84%;之后降低到最小值 25.20911,以年增长率 18.32%至 29.82743。林地、耕地、建设用地对资本存量依赖性不高,足迹深度为 1。草地的变幅较小,但其数字大于 1,说明草地发展对资本存量有较高的依赖性。水域的人均生态足迹深度变化相对较大,显示其对资本存量的依赖性高。(表 2)

表 1 2016-2020 年临汾市人均生态足迹广度

年份	耕地	草地	林地	水域	建设用地	化石燃料用地	合计
2016	0.57631	0.04156	0.02670	0.00095	0.03988	0.00000	0.68542
2017	0.57000	0.04061	0.03000	0.00097	0.04000	0.00000	0.68159
2018	0.56033	0.03571	0.01947	0.00099	0.04897	0.00000	0.66548
2019	0.46946	0.03590	0.02935	0.00102	0.05035	0.00000	0.58608
2020	0.55085	0.04330	0.03729	0.00118	0.05054	0.00000	0.68316

表 2 2016-2020 年临汾市人均生态足迹深度

年份	耕地	林地	草地	水域	建设用地	化石燃料用地	合计
2016	1.00000	1.00000	2.15708	25.37421	1.00000	1.00000	31.53129
2017	1.00000	1.00000	2.21603	20.55498	1.00000	1.00000	26.77101
2018	1.00000	1.00000	2.41994	21.11178	1.00000	1.00000	27.53172
2019	1.00000	1.00000	1.68411	19.52500	1.00000	1.00000	25.20911
2020	1.00000	1.00000	1.78237	24.04506	1.00000	1.00000	29.82743

### 3.3.2 人均三维生态足迹变化

虽然二维模型与三维模型计算结果总体趋势相同，结果却并不一致，生态足迹三维比二维数值更小，但其结论更接近于真实情况。数据显示，临汾市 2016-2020 年的三维生态足迹呈现波动上升的趋势，其中 2017 年的人均三维生态足迹为最低值，之后逐年上升 2020 年达到最大值  $5.11101\text{ha}\cdot\text{cap}^{-1}$ 。在各地类中，临汾市化石燃料用地占比最大，林地、水域、建设用地的数值均呈现出波动上升的趋势。

### 3.3.3 资本流量占用率和存量流量利用比

临汾市 2016 年-2020 年耕地对流量资本的使用是较为稳定的过程。（表 3）

2016 年，耕地的资本流量占用率为 0.86864，未对资本存量产生占用，但是资本流量的使用达到较高水平。2019 年，资本流量占用率大幅度下降，达到此阶段内的最小值 0.71364，说明 2019 年的生态供需关系相对放松。2019 年至 2020 年的耕地资本流量占用率基本持平，2020 年占用率下降为 0.73791。整体来看，2016-2020

年的资本流量占用率没有突破 0.9，未消耗存量资本。

临汾市林地 2016-2020 年资本流量占用率整体呈现为抛物线。2016 年资本流量占用率为 0.40711，说明流量资本能够充分满足人类生产发展的需求，2018 年占用率大幅降至最小值 0.29592，而 2018-2020 年间不断上升，变化范围为 0.29592-0.49469。建设用地表现出波动下降趋势，2016 年流量资本占用率为 0.78744，虽然未占用资本存量，但是对流量的占用率却较明显。2017 年与 2016 年相比，略有减少，2017-2018 年间有所回升，2018-2020 年持续下降，2020 年资本流量占用率降至最小值 0.61821，但资本存量的消耗带来的生态环境压力始终存在。临汾市 2016-2020 年的草地以及水域自然资源的使用都处于发展需求大于其供给能力的状态。草地的存量流量利用比在此阶段内波动下降，在 2019 年达到最大值 0.68411。水域资源的使用压力较大，2016 年达到 24.3742，到 2019 年占用情况有所好转，存量流量利用比为 18.52500。但整体使用情况依然处在高值，生态供给压力较大。

表 3 2016-2020 年临汾市各地类资本流占用率和存量流量利用比

年份	资本流量占用率 (%)			存量流量利用比	
	耕地	林地	建设用地	草地	水域
2016	0.86864	0.40711	0.78744	1.15708	24.37421
2017	0.85939	0.45685	0.71523	1.21603	19.55498
2018	0.84248	0.29592	0.80008	1.41994	20.11178
2019	0.71364	0.44414	0.75598	0.68411	18.52500
2020	0.73791	0.49469	0.61821	0.78237	23.04506

## 4 结论及建议

根据临汾市 2016-2020 年三维生态足迹,表明人均三维生态足迹数值较人均二维生态足迹更精确,数值偏小且人均生态足迹整体表现为下降趋势,人均生态承载力变幅较小,整体表现出微增且与生态足迹数值相差较大,这导致临汾市研究时段内一直处于不可持续发展状态,但赤字水平整体有所下降。

在不同土地类型中,人均生态承载力以耕地、林地为主体,建设用地次之。建设用地的人均生态承载力不断增加,草地的人均生态承载力波动下降,该市土地规划利用方式合理性提高。

2016-2020 年临汾市足迹广度表现为小幅度下降趋势且整体处于低水平,表征该市占用的流量资本减少;各地类中对人均足迹广度的贡献率较高的是耕地和建设用地,表明人均对耕地和建设用地的占用程度较高。足迹深度反映人类对存量资本占用的程度,在研究时段内人均足迹深度大于 1,说明流量资本不能够维持拥有消费需求生态社会,但对资本存量的使用速度减慢,使生态系统不可持续性发展的现状有所缓解。2016-2020 年内消耗资本存量的发展方式损害了资本流量的可更新性,对资本流量占用率的上升,增加了临汾市生态发

展压力。

## 参考文献

- [1]V. Niccolucci,A. Galli,A. Reed,E. Neri,M. Wackernagel,S. Bastianoni. Towards a 3D National Ecological Footprint Geography[J]. Ecological Modelling,2011,222-225.
- [2]V. Niccolucci,S. Bastianoni,E. B. P. Tiezzi,M. Wackernagel,N. Marchettini. How deep is the footprint? A 3D representation[J]. Ecological Modelling,2009,220-223.
- [3]方恺,高凯,李焕承. 基于三维生态足迹模型优化的自然资本利用国际比较[J]. 地理研究,2013,32(09):1657-1667.
- [4]宋思维,郑国璋. 临汾市城乡居民圣火消费的生态足迹[J]. 绿色科技,2017(09):164-167+172.
- [5]何逸帆,杨庆媛,张忠训. 基于三维生态足迹的重庆市自然资本利用动态分析[J]. 亚热带资源与环境学报,2019,14(01):79-86+95.
- [6]徐中民,张志强,程国栋. 甘肃省 1998 年生态足迹计算与分析[J]. 地理学报,2000(05):607-616.